

繰り返しストレス負荷装置の開発について

山口隆正

教育・研究技術支援室 装置開発技術系

概要

線維筋痛症は全身の広い範囲にわたる痛みを主訴とする疾患である。ストレスが発症要因のひとつと考えられている。この線維筋痛症をラットに発症させて、痛みの神経機構を研究するために、環境医学研究所の神経系分野Ⅱより、本装置の開発依頼があった。

本装置は、低温（4℃）と常温（22℃）の2つのコンパートメント間でラットを往復させることで、温度差によるストレスをラットに繰り返し与える装置である。本装置は冷蔵庫により低温環境をつくる。温度差を確保するため、低温と常温の断熱には、PMMA（アクリル樹脂製）プレートを採用し、断熱及び構造部材となる部品とした。一度の実験で多くのラットに発症させるため、ケージを最大限大容量化しながらも装置を省スペース化した。なお、本装置は計画工程通り平成28年2月1日に納入した。

1 背景

はじめに線維筋痛症の説明と研究内容を示す。

1.1 線維筋痛症について

線維筋痛症は、全身の広い範囲にわたる痛みを主訴とする原因不明の疾患である^[1]。痛みの激しさは、背骨を絞り上げられるような痛み^[2]、万力で締め付けられるような、尖ったガラスの破片でグサグサ刺されているような激痛^[3]と表現されている。国内でも推定200万人以上の患者が存在している^[4]。発症の契機として身体的外傷（交通事故、手術、怪我など）や過重な負荷（肉体労働、介護、出産、転居など）のエピソードが多く^[5]、生活環境などストレス要因も大きく関係する^[5]。

1.2 研究内容

ヒトはさまざまな環境変化に順応して生活している。それらの変化が順応できないほど過度な変化や、変化が間欠的に続くと心身症の引き金になると考えられる^[6]。急激な気温変動が繰り返される環境下で飼育して作製された慢性ストレスモデルのSARTストレス動物の症状と病態は、ヒトの心身症疾患と類似する^[6]。繰り返し寒冷ストレスモデルは線維筋痛症のモデルになると言われている^[7]。図1に示した繰り返される気温変動により線維筋痛症モデルの動物（ラットやマウスなど）を作製できる。環境医学研究所 ストレス受容・応答研究部門 神経系分野Ⅱより、線維筋痛症の痛みの神経機構を研究するため、線維筋痛症モデルの動物を自動で作製するため、過度な環境変化を間欠的に繰り返す、繰り返しストレス負荷装置の製作依頼が来た。

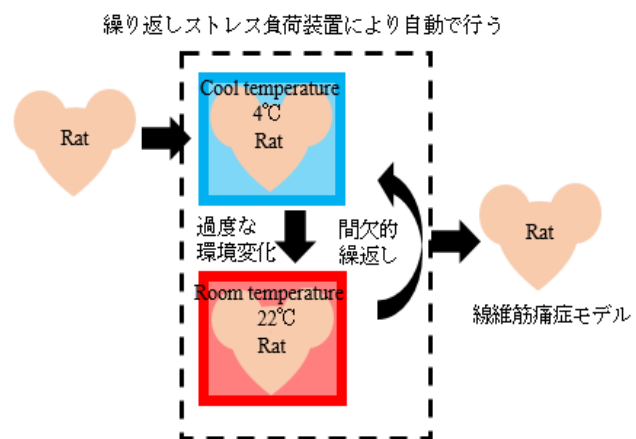


図1. 線維筋痛症モデル作製方法

2 装置概念

装置の今までの実績と形態、冷却機構を示す。

2.1 装置開発室における繰り返しストレス負荷装置の実績

本装置は今回で3台目となる。いままでに繰り返しストレス負荷装置は2台の実績がある。1台目は垂直方向の往復動作だが、今回の計画当初、記録を確認できなかった。2台目は水平方向に往復動作することで環境変化の負荷を与える構造の装置である。

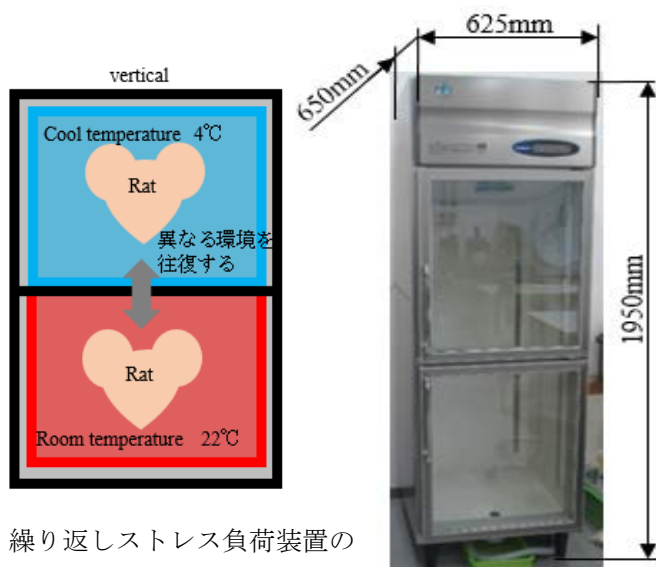


図2. 繰り返しストレス負荷装置の形態イメージ

2.2 装置の形態

異なる環境を往復することで、過度な環境変化を間欠的に動物に負荷を与える装置の形態イメージを図2に示す。本装置の設置スペースの制約より、垂直方向への往復動作する構造の装置になる。繰り返しストレス負荷装置として今回は3台目だが、本装置としてサイズは大きく、垂直方向の往復動作としてはゼロベースの計画となった。

図3. 低温部冷却用冷蔵庫 (RS63XT-2G)

2.3 冷却装置

市販の冷蔵庫により低温環境を作る。冷却能力、設置スペースなどから採用となった冷蔵庫を図3に示す。本冷蔵庫はホシザキ電機製冷蔵ショーケース RS63XT-2G である。定格出力 391W、庫内容積 342ℓ の能力である。本冷蔵庫の冷気は上部から吹き出す構造である。

3 装置仕様

冷蔵庫の内幅などの寸法を測定して3次元CADソフトSolidWorksにより計画した。

3.1 機械構造

計画した装置を図4に示す。異なる環境とするため、上段のみ①冷蔵庫で冷やして低温となるよう断熱する。下段は、②PMMAプレートと③スタイロフォームの断熱材により上段と遮断することで常温となる。低温部の温度変化を抑制するため、低温部が大容量となる位置で断熱する構造とした。

過度な環境変化としての、温度変化を与えるため、常温部と低温部を④電動シリンダによるストロ

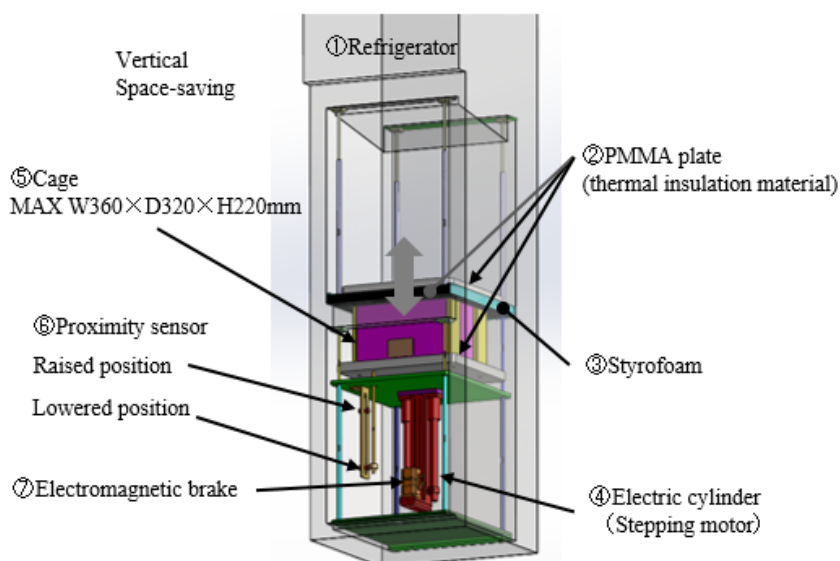


図4. 繰り返しストレス負荷装置計画図 (SolidWorks)

ークで動物は往復する。自動運転により間欠的に低温と常温間を往復動作することで、間欠的な過度な環境変化を動物に負荷する。往復運動させたい動物を入れる⑤ケージは最大で W360×D320×H220mm のサイズまで収容できる。多くの実験データが取れるよう、ケージサイズを最大限大容積化し、一度に動物が多く入る装置構造にした。安全のため、オーバーラン検知用に⑥近接センサ、⑦無励磁作動型電磁ブレーキを付けた。冷蔵庫自身には穴をあけるなどの改造をしない方針で計画をした。電気品・摺動部は全て常温部に収めた。冷蔵庫内で機構を完結させることでコンパクトにした。コンパクトにしたことで構造が単純になった。また、断熱・構造部品を一体部品としたり、アクチュエータをユニット化などによりコスト低減化を狙った。今回製作した繰り返しストレス負荷装置の全体画像と装置が動作したときの状態を図 5. に示す。本装置の自動運転は 6 日間、繰り返しストレス負荷を与える。30 分毎に間欠的に環境を変化のためストロークを行う。運転内容⁸⁾の詳細を表 1. に示す。

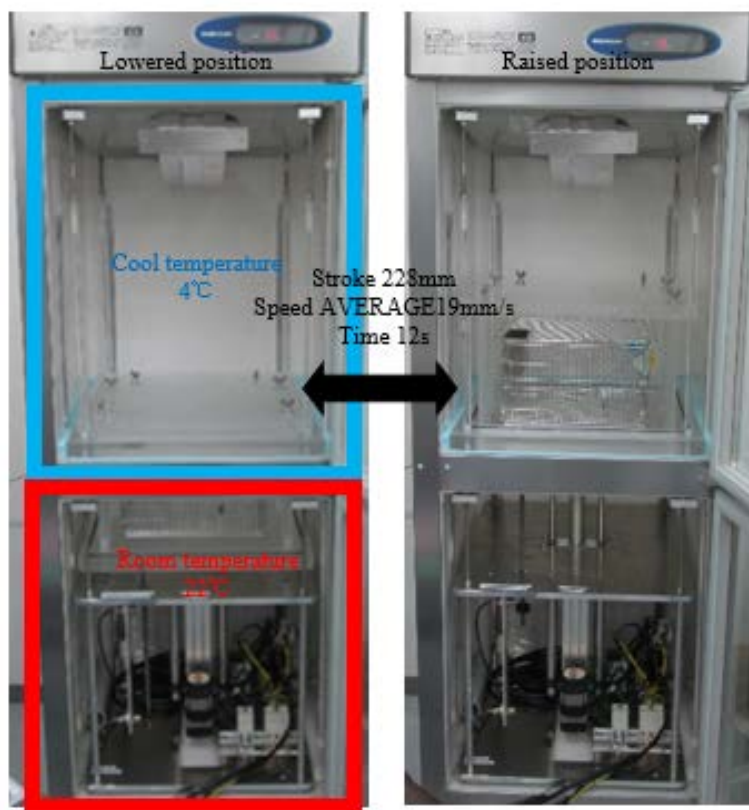


図 5. 製作した繰り返しストレス負荷装置の上昇位置と下降位置での状態画像

30 分毎に間欠的に環境を変化のためストロークを行う。運転内容⁸⁾の詳細を表 1. に示す。

表 1. 繰り返しストレス負荷装置の自動運転内容

時間	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目
10:00		22°C	22°C	22°C	22°C	22°C 終了
10:30		4°C	4°C	4°C	4°C	
11:00		22°C	22°C	22°C	22°C	
↓30分間隔		↓4°Cと22°Cを交互	↓	↓	↓	
17:30		4°C	4°C	4°C	4°C	
19:00	開始 4°C					

3.2 駆動系

アクチュエータには電動シリンダを採用した。モータ・ブレーキ・ボールネジ・ガイド・ドライバがセットになった図 6. のユニットを購入した。

昇降動作中に保温のためのシール機能が一時的に失われるため、ストロークは平均速度 19mm/s と速くした。シール性確保のため、ステッピングモータによる位置決め運転とした。安全のため、無励磁作動型電磁ブレーキにしてフェールセーフとした。アクチュエータを冷蔵庫内に収めるため、モータはベルトによる折り返し形とした。



Oriental motor
Electric cylinder
EAC6RW-E25-ARMAD-2-G
Thrust MAX360N
250st
Speed MAX300mm/s

図 6. アクチュエータユニット

3.3 制御システム

装置の制御システムを図7に示す。PCによりドライバを設定し、コントロールボックスから、PLC・ドライバを操作する。安全のため、オーバーラン検知用近接センサや、サーキットプロテクタを設けた。

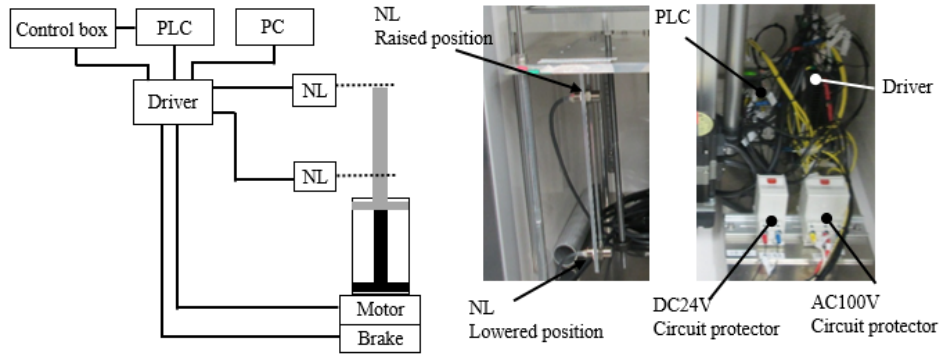


図7. 制御システム

3.4 操作方法

コントロールボックスのスイッチ回路を図8に示す。装置を操作する自動準備・自動運転のスイッチはモーメンタリとしてフェールセーフにした。寸動運転をするためにはセレクトスイッチとトグルスイッチを入れないと動作しないようにしてフルプルーフにした。安全のため運転準備スイッチを設けて、ONすることで動力電源が流れるようにした。

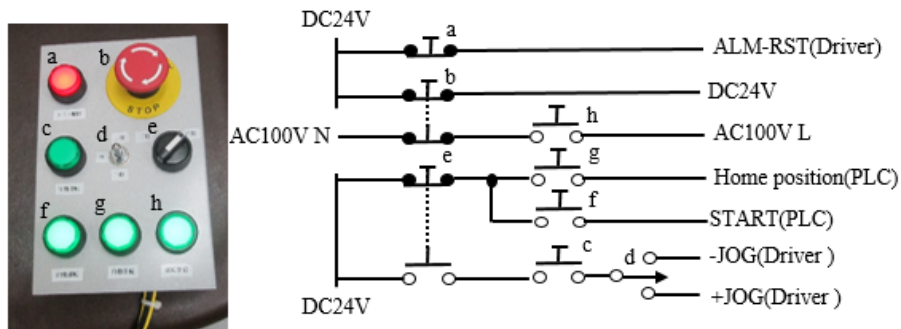
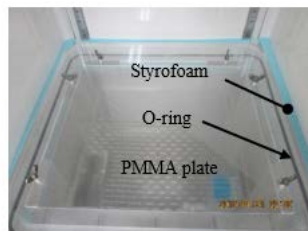


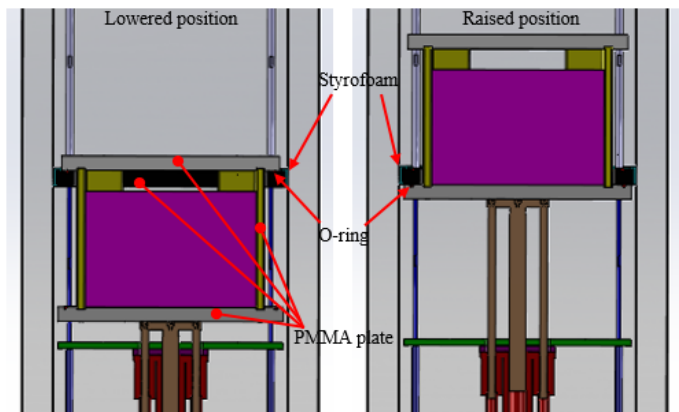
図8. スイッチ回路

3.5 断熱構造

断熱材には熱伝導率が低く、機械強度もあるPMMA（アクリル樹脂製）プレートを採用した。上段の冷気が漏れないよう保温性を上げるため、Oリングによりシールをする。隙間にはスタイロフォームを埋める。断熱構造を図9に示す。



(A)断熱構造部画像



(B)断熱構造 CAD 側面断面図 (SolidWorks)

図9. 断熱構造

3.6 ケージ

ケージを最大限大容積化する装置構造にした。ケージサイズは W300×D300×H200mm となった。開口部が装置前面に大きくあるため、容易にケージの出し入れ作業ができる。ケージを出し入れする開口部を図 10. に示す。常温部にケージがある場合のケージ出し入れ作業は、蝶ボルトを外して、プレートを 1 枚外せば取り出すこともできる。

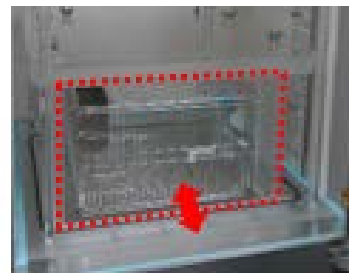


図 10. ケージ出し入れ開口部

3.7 冷却・保温能力測定

正確に過度な環境変化を与えることができるか確認するため、低温部と常温部の温度測定をした。

3.7.1 測定機器

測定に使用した測定機器の型式と、外観を図 11. に示す。

- ① HANNAinstruments 製ポータブル温度計 HI93532 (図 11.(0)) K 型熱電対プローブ P-00306 (図 11.(a))
- ② HANNAinstruments 製ポータブル温度計 HI93532 K 型熱電対ステンレス管タイプ P-00307 (図 11.(b))
- ③ CUSTOM 製デジタル温度計モジュール TX-120 (図 11.(c))

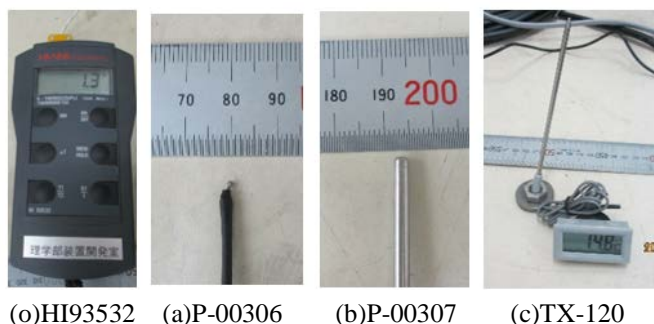


図 11. 温度計外観

3.7.2 測定位置

温度を測定する位置を図 12. に示す。低温は動物が入るケージの中心で測定する。常温は断熱構造部の下を測定する。室温は冷蔵庫の側面から 500mm 離れた位置を測定する。



(a) Cool temperature(P-00306) (b) Room temperature1 (P-00307) (c)Room temperature2 (TX-120)

図 12. 温度測定位置

3.7.3 測定条件

今回の測定は下記条件で行った。

- 30秒間隔で各測定位置の温度を読み取る
- 冷蔵庫設定温度 5°C
- 装置は上昇位置にストロークした状態（温度測定中、昇降運動はしない）
- 冷蔵庫の下段の扉は開放
- 理学 E 館 B-124 室 第二装置開発室作業場で測定実施

3.7.4 測定結果

温度測定により得た結果を図 13. に示す。線図から、冷蔵庫は圧縮機が ON-OFF を繰り返し、温度が不安定であることが分かる。およそ 430s 周期で温度変動を繰り返すことが分かる。変動は温度上昇は 8°C、冷却は 1°C 程度になっている。室温と常温に大差がないことが分かる。

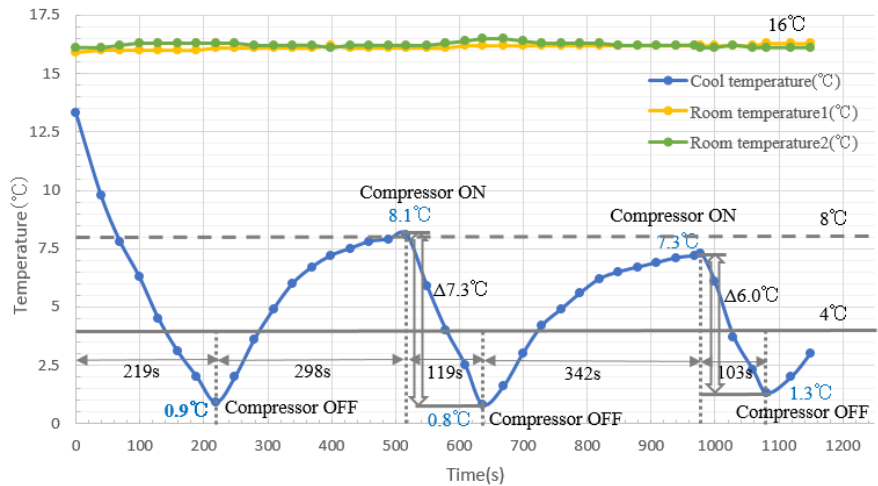


図 13. 温度変化線図

3.7.5 考察

冷蔵庫下段の常温の温度変化が見られないことと、室温と常温に大差がないことから、冷気の漏れは抑えられていることが分かる。冷却能力は 17s で 1°C 低下していることから、自動運転で 30 分毎の間欠動作をする本装置には、十分な冷却能力であることが分かる。本装置の低温部は、8°C 程度までの温度上昇であれば、過度な環境負荷を与えられると考えられている。また、低温部は 0°C にも下回っていない。よって、冷却・保温性能は問題ないと判断する。

4 現状と情報共有化

本装置の現状と、本業務により習得した技術を展開したことを示す。

4.1 装置の現状

2016 年 2 月 1 日に装置を納入したばかりであり、未だ装置稼働はしていない。稼働が始まってから、装置の成果を確認し、報告する予定である。

4.2 情報共有化と設計手順説明

今回の装置の設計の考え方などを技術職員に情報共有化として説明した。また、若手職員が多いことから設計手順の説明をした。図 14. に風景を示す。



図 14. 設計情報共有化と設計手順説明会風景

5 おわりに

今回の業務のまとめと今後の抱負を示す。

5.1 まとめ

今回の業務の結果をまとめる。

- ① 繰り返しストレス負荷装置を製作した
- ② 本装置は過度な環境変化を負荷できる断熱性能を確保し、間欠的に負荷を与えるための運転を正しく自動で動作した
- ③ 本装置は冷蔵庫内に装置の機構を納めてコンパクトにしたことで省スペースとなり、ケージは最大限大容積化しながらケージ出し入れ作業が容易な構造にした
- ④ 本装置の設計内容を説明して情報共有化をして、本設計を基にして若手職員などに設計手順を説明した
- ⑤ 計画から出荷までの一連の作業を担当したことで、各工程の技術を習得し、本学での仕事の進め方を把握した

5.2 今後

- ・電気関係の研修などに参加して、メカトロニクスの技術習得を進める
- ・今回の経験を活かして今後も大学ならではの装置開発に取り組んでいきたい

5.3 謝辞

本装置に関する製作品の加工支援をしていただいた第二装置開発室の皆様の協力により納期に間に合ったことに感謝いたします。

参考文献

- [1] 岡 寛, et al, “線維筋痛症の痛み定量化”, 臨床リウマチ Vol.26(2014), 平成 25 年 5 月, P45-1 – P45-2
- [2] 匿名希望, “線維筋痛症手記”, 医療法人聖仁会 漢方科 松本医院 線維筋痛症の患者さんの手記, 平成 26 年 8 月, P1-17
- [3] 匿名希望, “線維筋痛症手記 車椅子から完治まで”, 医療法人聖仁会 漢方科 松本医院 線維筋痛症の患者さんの手記, 平成 25 年 3 月, P5-24 – P5-25
- [4] 西岡 久寿樹, “線維筋痛症の現状と問題点”, 日本内科学会雑誌 第 96 巻 第 10 号, 平成 19 年 10 月, P115-39 – P115-40
- [5] 村上 正人, et al, “女性の線維筋痛症と病態の多様性”, 女性心身医学 J Jp Soc Psychosom Obstet Gynecol Vol.18, No.3, 平成 26 年 3 月, P370-5 – P370-11
- [6] 米田 良三, et al, “ストレスにより惹起される心身症の病態モデル”, 日本心身医学会 Vol.53 No.2.2013, 平成 25 年 2 月, P171-8 – P171-27
- [7] 水村 和枝, “線維性筋痛症の機構解明”, 中部大学 理学療法学科 水村研究室ホームページ (<http://www.isc.chubu.ac.jp/myalgia/kenkyu.html>)
- [8] Nasu, et al, Eur J Pain(2010)